

# 콘크리트 매립형 무선 온습도 센서 기반 적산온도법을 이용한 콘크리트 압축강도 예측에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Prediction of Concrete Compressive Strength by the Maturity Method Using Embedded Wireless Temperature and Humidity Sensor

문 동 환\*  
Mun, Dong-Hwan

장 현 오\*\*  
Jang, Hyun-O

이 한 승\*\*\*  
Lee, Han-Seung

### Abstract

Prediction of compressive strength of concrete by Maturity Method is applied in construction site. However, due to the use of wired type high-priced equipment, economic efficiency and workability are falling. In this study, a newly developed concrete embedded wireless sensor is used to perform a mock-up test. Next, the concrete compressive strength of the Maturity Method is predicted using Saul and Plowman's function as measured temperature data. The predicted concrete strength at the beginning of the age was the actual strength and stiffness, but the error rate was less than 1% at 28th day.

키 워 드 : 무선 온습도 센서, 적산온도법, 압축강도 예측

Keywords : wireless temperature and humidity sensor, maturity method frame work, prediction of compressive strength

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

콘크리트의 구조물의 역학적, 내구적 특성은 시공, 설계, 환경 등에 의해 영향을 받으며 특히 구조물의 재료가 되는 콘크리트의 성질에 크게 좌우된다. 압축강도는 콘크리트의 가장 주요한 요소로서 강도 예측을 위해 다양한 방법이 제시되고 있다. 그 중 적산온도계산에 의한 콘크리트의 압축강도 예측은 현장에서 센서를 사용한 실시간 데이터 습득을 통해 구조체에 충격을 가하지 않고 콘크리트의 압축강도를 예측하고 있다. 하지만 현재 보편화된 센서는 Thermocouple로서 고가의 유선장비를 필요로 하며 현장설치 시 기존작업을 방해하는 일이 발생하고 있다. 본 연구에서는 온습도 측정이 가능한 무선 방식의 매립형 센서를 사용하여 콘크리트 내에서 실시간 온도 측정 후 적산온도 계산을 통한 콘크리트 압축강도를 예측한다.

기존 연구에서 사용된 콘크리트 매립형 무선 온습도 센서(RH&T Sensor)를 기존 유선 센서(Thermocouple) 및 무선 센서(SmartRock2)를 모르타르에 실험한 결과 평균 0.29℃ 이하의 오차율을 가지며 기존 센서와 비교하여 높은 정확성을 보였다. 따라서 콘크리트 Mock-Up Test를 실시하여 무선 센서의 성능을 검증하고 적산법에 의한 콘크리트의 압축강도를 예측하도록 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 유선 센서(Thermocouple)를 대조군으로 무선 방식의 콘크리트 매립형 온습도 센서(RH&T Sensor)를 콘크리트 시험체(80cm×80cm×20cm)에 매립하여 Mock-Up Test를 실시하였다. 콘크리트의 호칭강도 및 측정 장비항목은 표 1과 같으며 기건 양생 중 실시간으로 변화되는 콘크리트 내 온도를 분석한다. 측정된 온도는 ASTM C 1074 규정의 Saul 함수를 바탕으로 적산온도를 계산, Plowman의 공식에 대입하여 콘크리트의 압축강도를 예측한다. 이 후 같은 재령의 콘크리트 시험체를 코어링하여 실제 압축강도와 적산법에 의해 예측된 압축강도를 비교 분석하였다.

\* 한양대학교 건축시스템공학 석사과정

\*\* 한국건설생활환경시험연구원, 공학박사

\*\*\* 한양대학교 건축학부 교수, 교신저자(ercleehs@hanyang.ac.kr)

표 1. 콘크리트 시험체의 W/C 및 측정장비 항목

W/C	호칭강도	양생 환경	측정 Sensor	Sensor의 측정 한도
48.1 %	24 MPa	기건 양생	RH&TSensor	온도:-20℃~80℃ 습도:20%~80%
			Thermocouple	온도:~180℃

### 3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 콘크리트의 적산온도 계산에 의한 예측강도와 실제강도를 비교한 그래프이며 그림 2는 실제 압축강도 대비 센서로 측정된 적산온도 압축강도의 오차율을 나타낸다. RH&T Sensor와 대조군 Thermocouple은 일평균 0.17℃ 온도차를 가지며 실제로 높은 정확성을 갖는 것을 확인하였다. 온도 데이터를 사용하여 예측된 콘크리트 강도는 3일차에서 오차율이 높으나 7일차, 14일차 및 28일차에서는 각각 10%, 5%, 1% 이하의 오차율을 보였다. 3일차 코어링 압축강도가 공시체 강도에 비해 크게 낮고, Plowman의 공식이 초기 오차율이 상대적으로 크기 때문에 강도의 초기 오차율이 커진 것으로 판단된다.

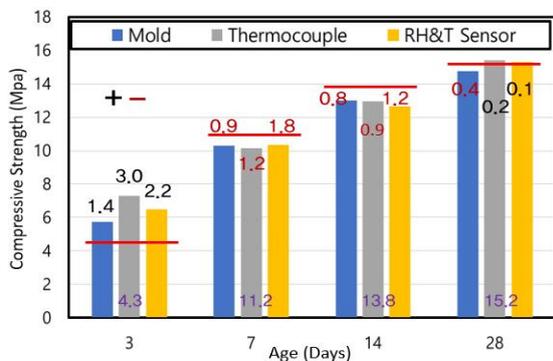


그림 1. 콘크리트의 적산온도에 계산에 의한 예측 강도와 실제 강도 비교

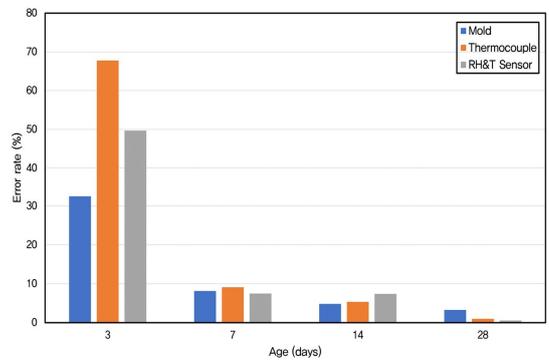


그림 2. 실제 압축강도 대비 적산법에 의해 예측된 압축강도의 오차율 비교

### 4. 결 론

본 연구 결과 무선 매립형 센서의 온도 측정은 기존 센서와 비교하여 매우 높은 정확성 및 민감성을 보여 실제 현장에서의 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 측정된 온도로 적산온도법을 실시, 콘크리트의 압축강도를 예측한 결과 재령일이 지날수록 실제 콘크리트 압축강도와 매우 유사하였다. 따라서 RH&T Sensor의 정확성을 고려할 때 현장 적용 및 연구에 사용이 가능할 것으로 판단된다.

### Acknowledgement

이 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다. (No.2015R1A5A1037548)

### 참 고 문 헌

- 이승준, 적산온도 방식의 콘크리트 압축강도 예측에 적용하기 위한 매립형 무선 온습도 센서의 성능 검증에 관한 실험적 연구, 한국구조물진단유지관리공학회, 제2018권, 제4호, pp.409~410, 2018.4
- 김무한, 적산온도 방법에 의한 강도예측모델 개발 및 건설생산현장에서의 강도관리에 관한 연구, 한국콘크리트학회논문집, 제15권 제1호, pp.87~94, 2003